

О.П. СТАРЧЕНКО**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРОБКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ШЛИЦОВЫХ З'ЄДНАНЬ З МОДИФІКОВАНИМ ПРОФІЛЕМ ІНСТРУМЕНТА**

Вирішенням питання підвищення точності, якості та продуктивності виготовлення евольвентних шліцевих з'єднань натомість прямобічним шліцевим з'єднанням є удосконалення технологічного обладнання та впровадження надшвидкісної обробки деталей за одну установку на високоефективному технологічному обладнанні. Технологічні методи обробки крупногабаритних елементів евольвентних шліцевих з'єднань шляхом впровадження прогресивних схем зубообробки та удосконаленого інструменту забезпечують підвищення продуктивності, точності та якості за рахунок з'єднань з модифікацією зуборізного інструменту черв'ячної фрези для валів та зуборізного довбача для отворів валів. Приведені технологічні засоби що до попередньої обробки крупногабаритних евольвентних шліцевих з'єднань втулок та валів з модифікацією зуборізного інструменту, що дозволяє після попередньої обробки проводити чистову обробку тільки евольвентних поверхонь без западини зубів, що забезпечує точність, якість та продуктивність евольвентних шліцевих з'єднань (ЕШЗ) без припасування. Для забезпечення якості обробки та складання ЕШЗ розроблені технологічні засоби обробки крупногабаритних евольвентних шліцевих з'єднань з модифікацією зуборізного інструменту черв'ячної фрези для валів та зуборізного довбача для отворів валів. На основі модифікацій аналітичним шляхом визначаються їх різноманітні поєднання необхідні і можливі для кожного конкретного поєднання вихідних параметрів оброблюваної поверхні.

Ключевые слова: крупногабаритні евольвентні шліцеви з'єднання, центруванням по бічних поверхнях зубів, втулки, вали, модифікація зуборізного інструменту, западина зубів, точність, якість, продуктивність.

Е.П. СТАРЧЕНКО**ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ С МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ ИНСТРУМЕНТА**

Решением вопроса повышения точности, качества и производительности изготовления эвольвентных шлицевых соединений вместо прямобочным шлицевого соединения является совершенствование технологического оборудования и внедрение сверхскоростной обработки деталей за одну установку на высокоэффективном технологическом оборудовании. Технологические методы обработки крупногабаритных элементов эвольвентных шлицевых соединений путем внедрения прогрессивных схем зубообработки и усовершенствованного инструмента обеспечивают повышение производительности, точности и качества за счет соединений с модификацией зуборезного инструмента червячной фрезы для валов и зуборезного долбяка для отверстий валов. Приведены технологические средства, которые в предыдущей обработке крупногабаритных эвольвентных шлицевых соединений втулок и валов с модификацией зуборезного инструмента, позволяет после предварительной обработки проводить чистовую обработку только эвольвентных поверхностей без впадины зубьев, обеспечивает точность, качество и производительность эвольвентных шлицевых соединений (ЭШС) без подгонки. Для обеспечения качества обработки и сборки ЭШС разработаны технологические средства обработки крупногабаритных эвольвентных шлицевых соединений с модификацией зуборезного инструмента червячной фрезы для валов и зуборезного долбяка для отверстий валов. На основе модификаций аналитическим путем определяются их разнообразные сочетания необходимые и возможные для каждого конкретного сочетания исходных параметров обрабатываемой поверхности.

Ключові слова: крупногабаритные эвольвентные шлицевые соединения, центрированием по боковым поверхностям зубьев, втулки, вали, модификация зуборезного инструмента, впадина зубьев, точность, качество, производительность.

O. STARCHENKO**PROCESSING TECHNOLOGY OF LARGE-SIZED EVOLVENT SPLINE CONNECTIONS WITH MODIFIED TOOL PROFILES**

The solution to the issue of improving the accuracy, quality, and productivity of manufacturing involute splined joints instead of straight-line splined joints is the improvement of technological equipment and the introduction of ultra-high-speed machining of parts in one installation on highly efficient technological equipment. Technological methods for processing large-sized elements of involute splined joints by introducing progressive gearing schemes and an improved tool provide increased productivity, accuracy, and quality due to connections with a modification of a gear cutting tool for a worm cutter for shafts and a gear cutting cutter for shaft openings. Technological tools are presented which, in the previous processing of large-sized involute splined joints of bushings and shafts with a modification of a gear cutting tool, allow after finishing to only finish involute surfaces without tooth cavities, which ensures accuracy, quality, and performance of involute splined joints (ESW) without fitting. To ensure the quality of processing and assembly of ESWs, technological means have been developed for processing large-sized involute splined joints with a modification of a gear cutting tool for a worm cutter for shafts and gear cutting cutter for shaft openings. Based on the modifications, their various combinations necessary and possible for each concrete combination of the initial parameters of the processed surface are determined analytically.

Keywords: large-sized involute splined joints, centering on the lateral surfaces of teeth, bushings, shafts, modification of a gear-cutting tool, tooth cavity, accuracy, quality, productivity.

1. Вступ. Для обробки зубів шліцевих з'єднань ГОСТ 6033-80 з центруванням по бічних поверхнях зубів (рис. 1) з піднутрінням під чистову обробку використовуються чорнові черв'ячні фрези і зуборізни довбачі без модифікацією головки зубів [1, 2, 3], що ускладнює чистову обробку з метою забезпечення точності та якості евольвентних шліцевих з'єднань (ЕШЗ) без припасування.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішенням питання підвищення точності, якості та продуктивності виготовлення евольвентних шліцевих з'єднань натомість прямобічним шліцевим з'єднанням є удосконалення технологічного обладнання та впровадження надшвидкісної обробки деталей за одну установку на високоефективному технологічному обладнанні.

© О.П. Старченко, 2018

В важких верстатах застосовувалися прямобічні шліцьові з'єднання при centruванні по внутрішньому діаметру, що вимагало значних витрат для забезпечення якості виготовлення таких з'єднань при застосуванні складного і дорогого обладнання, інструменту, контрольних засобів (горизонтально-протяжні верстати, шліцефрезерні та шліцешліфувальні верстати, комплекти протяжок, що складаються з двох, частіше з трьох протяжок, спеціальні шліцьові фрези, шліфувальні круги, калібри для отворів і валів).

Елементи шліцьових з'єднань становлять значну частку продукції машинобудування серед великої різноманітності інших виробів. Та не зважаючи на це, середня трудомісткість операцій по обробці зовнішнього та внутрішнього шліцьового профілю різанням, в прийнятих на даний час технологічних процесах, становить 50-60% від загальної трудомісткості виготовлення деталей, що містять поверхні шліцьового профілю. Крім того, прийняті на даний момент методи, що застосовуються для отримання таких поверхонь, потребують значних матеріальних та часових затрат на проектування та виготовлення спеціального, досить складного та дорого у виготовленні інструменту [4, 5, 6, 7]. Тому удосконалення існуючих методів шліцеобробки, а також розробка і впровадження нових, прогресивних технологічних процесів має велике значення.

Метою даної статті є розробка нових технологічних рішень стосовно обробки великогабаритних евольвентних шліцьових з'єднань натомість прямобічним шліцьовим з'єднанням, спрямованих на підвищення продуктивності, якості та зниження матеріальних і трудових затрат на їх виготовлення [8, 9, 10].

Основна частина. Вихідний контур і форма зубів шліцьових з'єднань і основні залежності для визначення їх розмірів повинні відповідати зазначеним на рис. 1 - рис. 3 ГОСТ 6033-80. При centruванні по зовнішньому діаметру допускається застосовувати centruвання по внутрішньому діаметру з забезпеченням вимог допусків і посадок при centruванні по зовнішньому та внутрішньому діаметрам.

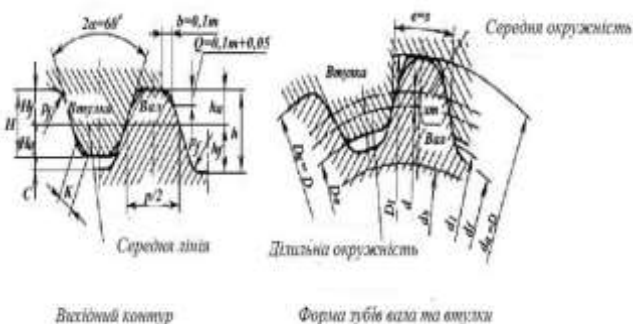


Рисунок 1 – Центрування по зовнішньому діаметру

Загальна технологія обробки великогабаритних евольвентних шліцьових з'єднань (ЕШЗ) з модифікованим профілем практично не залежить від

послідовності виконання технологічних операцій, але залежить від застосовуваного інструменту та способів контролю ЕШЗ залежно від виду centruвання. Також допускається застосовувати поєднання профілів зубів вала і втулки з різною формою дна западини. На поверхні вершин зубів вала, отриманих методом накатки, допускаються поглиблення.

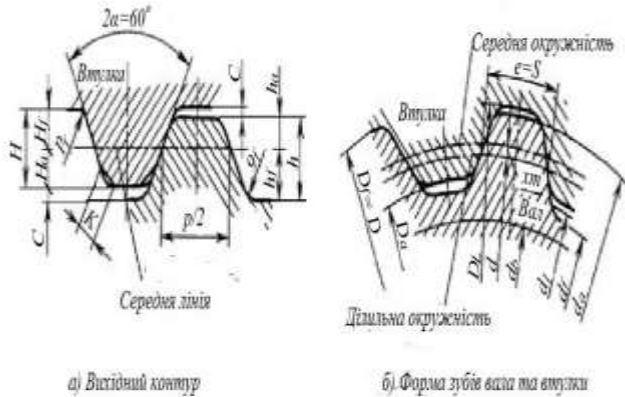


Рисунок 2 – Центрування по бокових поверхнях зубів (плоска форма дна западини)

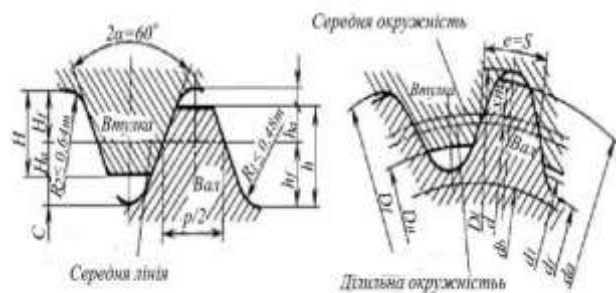


Рисунок 3 – Центрування по бокових поверхнях зубів (закруглена форма дна западини); centruвання по внутрішньому діаметру

Найбільший вплив на структуру операцій в технологічному процесі мають рівень точності і шорсткість поверхні зубів, вид термічної обробки та ін. Підвищена точність викликає додаткові фінішні операції по обробці базових поверхонь заготовки, профілів зубів, а також впливає на режим обробки, якість технологічного оснащення і ріжучого інструменту [7, 10].

При зубофрезеруванні черв'ячна фреза утворює з оброблюваної заготовкою гвинтове верстатне зачеплення. Зубофрезерні станки з ЧПУ в більшості випадків мають кінематичну схему, зображену на рис. 4.

Всі формотворчі рухи цього верстата по осях координат X, Y, Z, A, B, C здійснюються від окремих регульованих електродвигунів: M_x (через гвинт 1) – переміщення інструментальної стійки 2 для зміни міжосьової відстані; M_y (через гвинт 4) – переміщення фрезерного супорта уздовж осі заготовки; M_z (через гвинт 5) – переміщення фрезерної каретки 6 уздовж осі інструменту; M_c – обертання інструменту 7; M_b (через ділильну передачу 9) – обертання столу 8 із заготовкою. Електродвигун M_a через черв'ячну

передачу 3 виконує поворот супорта з фрезою на необхідний кут.

Застосування системи ЧПУ для управління зубофрезерування дозволяє будувати гнучкі виробничі модулі (ГВМ) з повною автоматичної переналадження, що включає в себе зміну інструменту, оснастки, заготовки та перебудову всіх внутрішніх зв'язків за параметрами обробки.

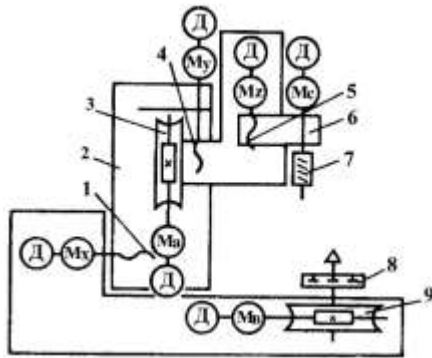


Рисунок 4 – Принципова схема зубофрезерного станка з ЧПУ

Найчастіше шліцьові вали обробляють на верстатах з горизонтальним розташуванням осі заготовки, які оснащують люнетами, а також головками для кріплення пальцевих фрез.

Залежно від призначення і розмірів оброблюваної деталі застосовують черв'ячні фрези (ГОСТ6637-80) наступних класів точності: AAA, AA, A, B, C і D і використовуються для нарізування шліцьових поверхонь 6-9 ступенів точності. Найбільшого поширення для обробки шліців отримали одно- і багатозахідні, збірні і твердосплавні черв'ячні фрези [6, 7].

У машинобудуванні твердосплавні черв'ячні фрези знаходять все більш широке застосування, головним чином для нарізування шліцьових валів твердістю близько HB 300. Застосовують збірні фрези з ромбовидними різцями марки T15K6.

Режими різання черв'ячними фрезами зазвичай призначають виходячи з мінімальних витрат на зубообробку. При цьому за основу беруть значення стійкості і зносу фрези по задній поверхні.

Чорнова обробка внутрішніх шліцьових поверхонь виконується методом зубодовбання. Зубодовбання – основний спосіб обробки внутрішніх зубів шліцьових поверхонь. Основна перевага зубодовбання в порівнянні з обробкою черв'ячної фрезою – менша огранювання евольвентного профілю шліцьових отворів з малим числом зубів.

Принципова схема зубодовбального верстата зображена на рис. 5.

В процесі обробки інструментальний шпиндель з довбачем здійснюють швидкий зворотно-поступальний рух зі швидкістю v_1 , частота якого встановлюється за допомогою гітари або коробки швидкостей 5, що приводиться в рух від головного двигуна М. Інструментальний 1 і робочий 2 шпинделі

верстата здійснюють повільне синхронне обертання ω_1 та ω_2 . Відносні частоти їх обертання (обкатка) налаштовуються за допомогою гітари ділення 9.

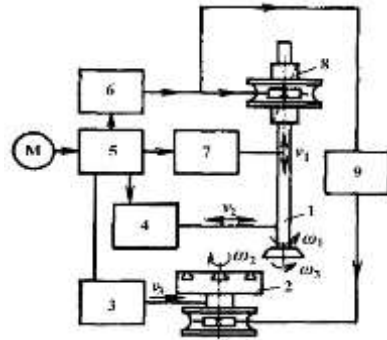


Рисунок 5 – Принципова схема зубодовбального верстата з механічними кінематичними зв'язками

Випускають верстати, оснащені системами ЧПУ, які пов'язують всі рухи виконавчих органів верстата. Ці верстати характеризуються високою якістю і високою продуктивністю обробки. Такі верстати працюють в автоматичному циклі, що включає зміну інструменту і оснастки; наладку на виготовлення нового виробу із заміною оснащення виконують перемиканням програми; верстати мають адаптивну систему управління по коливанню умов обробки, забезпечують модифікацію позовжнього профілю зубів виробу, можуть вбудовуватися в автоматичні лінії і ГПС.

Зуборізні довбачі по конструктивно-технологічним ознаками діляться на дискові, чашкові, втулкові і хвостові та виготовляються трьох класів точності: класу AA – дискові і чашкові довбачі з d_0 від 75 до 200 мм; класів А і В – дискові, чашкові та хвостові довбачі з d_0 від 25 до 200 мм.

Рекомендоване призначення довбачі: класу AA – для поверхонь 6-го ступеня точності; класу А – для поверхонь 7-го ступеня точності; класу В – для поверхонь 8-й ступеня точності. Твердість ріжучої частини долбачів на передній грані повинна бути в межах HRC, 62-65.

Практична цінність полягає в тому, що у важких верстатах застосовувалися прямобічні шліцьові з'єднання при centruванні по внутрішньому діаметру, що вимагало значних витрат для забезпечення якості виготовлення таких з'єднань при застосуванні складного і дорогого обладнання: горизонтально-протяжних верстатів, шліцефрезерних та шліцешліфувальних верстатах, комплектів протяжок, що складаються з двох, частіше з трьох протяжок, спеціальні шліцьові фрези, шліфувальні круги, калібри для отворів і валів).

Висновки. Вирішені питання підвищення точності, якості та продуктивності виготовлення евольвентних шліцьових з'єднань натомість прямобічним шліцьовим з'єднанням за рахунок удосконалення технологічного обладнання та впровадження надшвидкісної обробки деталей за одну установку на високоефективному технологічному

обладнанні.

У важких верстатах застосовувалися прямобічні шліцьові з'єднання при центруванні по внутрішньому діаметру, що вимагало значних витрат для забезпечення якості виготовлення таких з'єднань при застосуванні складного і дорогого обладнання, інструменту, контрольних засобів (горизонтально-протяжні верстати, шліцефрезерні та шліцешліфувальні верстати, комплекти протяжок, що складаються з двох, частіше з трьох протяжок, спеціальні шліцьові фрези, шліфувальні круги, калібри для отворів і валів).

Список литературы

1. Анділахай О.О., Ключко О.О., Камчатна-Степанова К.В., Старченко Є.П. *Технологічні засоби обробки крупногабаритних евольвентних шліцьових з'єднань з модифікацією зуборізного інструменту: Машинобудування і зварювальне виробництво / Наука та виробництво: міжвузівський тематичний збірник наукових праць. – Мариуполь: ДВУЗ «ПДТУ», 2019. – Вип. 19. – С.50–63.*
2. Заковоротний О.Ю., Ключко О.О., Старченко О.П., Камчатна-Степанова К.В. Андиферова О.О. *Підвищення точності, якості та продуктивності обробки крупногабаритних евольвентних шліцьових поверхонь. Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції 04 – 07 липня 2019 року / Під заг. ред. В. Д. Ковальова. – Краматорськ: ДДМА, 2019. – С. 36 – 37. ISBN 978-966-379-853-0.*
3. Веселовська Н.Р., Скоркін О.А., Котляр О.В., Ключко О.Ю., Старченко О.П. *Інформаційний фонд релевантності конструкторсько-технологічних видів крупногабаритних з'єднань для передачі крутного моменту // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків: НТУ «ХПІ», 2018. – № 34 (1310) 2018. – С. 77–83. – ISSN 2079-004X.*
4. ГОСТ 6033–80 *Основные нормы взаимозаменяемости. З'єднання шліцьові евольвентні з кутом профілю 30 °. Розміри, допуски і вимірювані величини. – Замість ГОСТ 6033–51; введ. 01.01.1982. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 86 с.*
5. *Технологія машинобудування: В 2 кн. Кн. 2. Виробництво деталей машин: Навч. посіб для вузів/ Е.Л. Жуков, І.І. Козарь, С.Л. Мурашкин и др.; Під ред. С.Л. Мурашкина. – М.: Виш. шк., 2003. – 295 с.*
6. ГОСТ 6637–80 *Фрезы червячные чистовые для шлицевых валов с эвольвентным профилем. Технические условия. – Взамен ГОСТ 6637–53; введ. 01.01.1982. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 22 с.*
7. ГОСТ 6762–79 *Долбяки зуборезные чистовые для валов и отверстий шлицевых соединений с эвольвентным профилем. Технические условия. – Взамен ГОСТ 6762–65; введ. 01.01.1980. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1996. – 53 с.*
8. Крупина, Н. П. *Расчет инструментов для производства зубчатых колес, шлицевых валов и втулок. В 2 ч. – Ч. 1. / Н. П. Крупина. – Челябинск, 2008. – 284 с.*
9. Струтинський В.Б., Дем'яненко А.С. *Наукове обґрунтування та розробка системи моніторингу фактичного просторового положення інструменту верстата паралельної кінематики. – Технологічні комплекси, 2013, № 1(7), с. 71–79.*
10. *Технология изготовления зубчатых колес/ Калашников А.С. – М.:*

Машиностроение, 2004. – 480 с. ил.

References (transliterated)

1. Andilakhaj O.O., Klochko O.O., Kamchatna-Stepanova K.V., Starchenko E.P. *Tekhnologični zasobi obrobki krupnogabaritnikh evol'ventnikh shli'cz'ovikh z'yednan' z modifi'kaczi'yej zubori'znogo i'nstrumentu: Mashinobuduvannya i' zvaryuval'ne virobnicztvo [Technological means of processing large-sized involute spline connections with modification of a gear-cutting tool: Mechanical engineering and welding production] Nauka ta virobnicztvo : mi'zhvuzi'vs'kij tematicnij zbi'rnik naukovikh prac'.* Mariupol', DVUZ «PDTU», 2019. Vol. 19. pp.50–63
2. Zakovorotnij O.Yu., Klochko O.O., Starchenko O.P., Kamchatna-Stepanova K.V. *Ancziferova O.O. Pi'dvishhennya tochnosti', yakosti' ta produktivnosti' obrobki krupnogabaritnikh evol'ventnikh shli'cz'ovikh poverkhon'. [Improving the accuracy, quality and productivity of machining large involute spline surfaces] Vazhke mashinobuduvannya. Problemi ta perspektivi rozvitku. Materi'ali Mi'zhnarodnoyi nauko-ve-tekhni'chnoyi konferenczi'yi 04 – 07 lipnya 2019 roku. Pi'd zag. red. V. D. Koval'ova. Kramators'k: DDMA, 2019.pp. 36 – 37. ISBN 978-966-379-853-0.*
3. Veselov's'ka N.R., Skorki'n O.A., Kotlyar O.V., Klochko O.Yu., Starchenko O.P. *Informaczi'jniy fond relevantnosti' konstruktors'ko-tekhnologičnikh vidi'v krupnogabaritnikh z'yednan' dlya peredachi' krutnogo momentu [Information fund of relevance of design and technological types of large joints for torque transmission] Vi'snik Naczi'onala'nogo tekhnichnogo uni'versitetu «KhPI». Seri'ya: Tekhnologič'yi v mashinobuduvanni' = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Techniques in a machine industry: zb. nauk. pr. Nacz. tekhn. un-t «Kharkiv. poli'tekhn. i'n-t». Kharkiv'v : NTU «KhPI», 2018. No 34 (1310) 2018. pp. 77–83. – ISSN 2079-004X.*
4. *GOST 6033–80 Osnovni' normi vzayemozami'nnosti'. Z'yednannya shli'cz'ovi' evol'ventni' z kutom profi'lyu 30 ° [Basic interchangeability standards. The splines are involute with a profile angle of 30 °]. Rozmi'ri, dopuski i' vimi'ryuvani' velichini. – Zami'st' GOST 6033–51; vved. 01.01.1982. Moskov. Vidavnicztvo standarti'v, 2005. 86 p.*
5. *Tekhnologič'ya mashinobuduvannya [Engineering technology] Vol. 2 kn. Kn. 2. Virobnicztvo detalej mashin: Navch. posi'b dlya vuzi'v/ E.L. Zhukov, I.I. Kozar', S.L. Murashkin i dr.; Pi'd red. S.L. Murashkina. Moscow Vishh. shk., 2003. 295 p.*
6. *GOST 6637–80 Frezy chervyachny'e chistovy'e dlya shliczevy'kh valov s e'vol'ventny'm profilem [Finishing worm mills for splined shafts with involute profile]. Tekhnicheskie usloviya. – Vzaмен GOST 6637–53; vved. 01.01.1982. Mj'scov IPK Izdatel'stvo standartov, 1996. 22 p.*
7. *GOST 6762–79 Dolbyaki zuboreznye chistovy'e dlya valov i otverstij shliczevy'kh soedinenij s e'vol'ventny'm profilem. Tekhnicheskie usloviya [Finishing cutters for shafts and holes of splined joints with involute profile]. Vzaмен GOST 6762–65; vved. 01.01.1980. Modcov IPK Izdatel'stvo standartov, 1996. 53 p.*
8. *Krupina, N. P. Raschet instrumentov dlya proizvodstva zubchaty'kh koles, shliczevy'kh valov i vtulok [Calculation of tools for the production of gears, splined shafts and bushings]. V 2 ch. Ch. 1. / N. P. Krupina. Chelyabinsk, 2008. 284 p.*
9. *Strutins'kij V.B., Dem'yanenko A.S. Naukove obg'runtuvannya ta rozrobka sistemi moni'toringu faktichnogo prostорового polozhennya i'nstrumentu verstata paralel'noyi ki'nematiki. [Scientific substantiation and development of the system for monitoring the actual spatial position of the parallel kinematics machine tool] Tkhnologič'chni' kompleksi, 2013, No 1(7), pp. 71–79.*
10. *Kalashnikov A.S. Tekhnologiya izgotovleniya zubchaty'kh koles [Gear manufacturing technology] Moscov, Mashinostroenie, 2004. 480 p*

Поступила (received) 03.05.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Старченко Олена Павлівна (Старченко Елена Павловна, Olena Pavlovna) – Заступник директора з навчальної роботи Харківського радіотехнічного коледжу, м. Харкові, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7444-6668>; тел.: (057) 731-25-22; e-mail: Olena7200@ukr.net